DOI:10.16433/j.1673-2383.2024.02.011
张炎明,应剑,王岸娜,等. 低温烘焙对杂粮饼干血糖生成指数和品质的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版),2024,45(2):92-97.
ZHANG Yanming, YING Jian, WANG Anna, et al. The effect of low-temperature baking on the glycemic index and quality of mixed grain biscuits[J]. Journal of Henan university of technology(natural science edition),2024,45(2):92-97.

低温烘焙对杂粮饼干血糖生成指数和品质的影响

张炎明[1,2],应　剑[1,2,3*],王岸娜[1*],王梦倩[2,3],王泽宇[1,2],钱承敬[2],解树珍[4]
1. 河南工业大学 粮油食品学院,河南 郑州 450001
2. 中粮营养健康研究院有限公司,北京 102209
3. 营养健康与食品安全北京市重点实验室,北京 102209
4. 中粮面业(濮阳)有限公司,河南 濮阳 457000

摘要:为了降低杂粮饼干的血糖生成指数 (glycemic index, GI),为消费者提供更多的控糖食品选择,以全麦粉、白青稞粉、黑苦荞粉为主要原料的自制杂粮饼干为研究对象,利用体外模拟消化方法对不同低温烘焙方法降低饼干预测血糖生成指数(expected glycemic index, eGI)的有效性进行研究, 利用 X-射线衍射和扫描电镜观察低温烘焙对饼干微观结构的改变。低温烘焙饼干的配方为全麦粉 30 g、白青稞粉 60 g、黑苦荞粉 10 g、黄油 40 g、白砂糖 10 g、麦芽糖醇 10 g、全蛋液 20 g、纯牛奶 10 g。控温条件为 90 ℃ 3 h+160 ℃ 10 min、90 ℃ 5 h+160 ℃ 8.5 min、90 ℃ 7 h+160 ℃ 5 min、160 ℃ 18 min。研究表明:与 160 ℃ 烘焙 18 min 的饼干相比,低温烘焙处理可降低饼干在各个时间点的淀粉水解率;饼干经低温烘焙处理后 eGI 可由最高 57.4 降低至 47.6;微观结构显示低温烘焙影响饼干表面的均一度,并增加了饼干淀粉的相对结晶度,但未对晶型产生影响;感官评价结果显示经过低温烘焙制得的饼干在色泽、香气、滋味与口感以及整体喜好度上均优于普通饼干。低温烘焙方法有助于进一步降低杂粮饼干的血糖生成能力,是开发血糖调控饼干的候选工艺。

关键词:饼干;血糖生成指数;体外模拟消化;感官评价;微观结构
中图分类号: TS201.1　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1673-2383(2024)02-0092-06

The effect of low-temperature baking on the glycemic index and quality of mixed grain biscuits

ZHANG Yanming[1,2], YING Jian[1,2,3*], WANG Anna[1*], WANG Mengqian[2,3], WANG Zeyu[1,2], QIAN Chengjing[2], XIE Shuzhen[4]
1. College of Food Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China
2. COFCO Nutrition and Health Research Institute Co., Ltd, Beijing 102209, China
3. Beijing Key Laboratory of Nutritional Health and Food Safety, Beijing 102209, China
4. COFCO Noodle Industry (Puyang) Co., Ltd, Puyang 457000, China

Abstract: In order to reduce the glycemic index (GI) of miscellaneous grain biscuits and provide consumers with more choices of sugar-controlled foods, self-made miscellaneous grain biscuits mainly made from

收稿日期: 2023-09-19
基金项目: 国家重点研发计划(2022YFF1100504)
作者简介: 张炎明(1998—),男,河南郑州人,硕士研究生,研究方向为功能性食品。
* **通信作者**: 应剑,正高级工程师,E-mail:yingjian@cofco.com;王岸娜,教授,E-mail:wanganna2006@163.com。

whole wheat flour, white barley, and black tartary buckwheat were studied. The effectiveness of different low-temperature baking methods in reducing the predicted glycemic index of biscuits was studied using *in vitro* simulated digestion methods. X-ray diffraction and scanning electron microscopy were applied to observe the changes in the microstructure of biscuits caused by low-temperature baking. The formula for low-temperature baked biscuits was: 30 g whole wheat flour, 60 g white barley flour, 10 g black buckwheat flour, 40 g butter, 10 g white sugar, 10 g maltitol, 20 g whole egg liquid, and 10 g pure milk. The baking conditions were controlled at 90 ℃ for 3 hours+160 ℃ for 10 minutes, 90 ℃ for 5 hours+160 ℃ for 8.5 minutes, 90 ℃ for 7 hours+160 ℃ for 5 minutes, and 160 ℃ for 18 minutes, respectively. The results showed that compared with biscuits baked at 160 ℃ for 18 minutes, low-temperature baking treatment can reduce the starch hydrolysis rate of biscuits at various time points. After low-temperature baking treatment, the predicted glycemic index (eGI) of biscuits can be reduced from 57.4 to 47.6. Microscopic observation showed that low-temperature baking affected the uniformity of the biscuit surface and increased the relative crystallinity of the biscuit starch, but did not change the crystal form. The sensory evaluation results showed that the biscuits made by low-temperature baking were superior to ordinary biscuits in terms of color, aroma, taste, and overall preference. Therefore, the low-temperature baking method could help to further improve the glycemic response of miscellaneous grain biscuits and is a candidate processing method for developing glycemic stabilizing biscuits.

Key words: biscuit; glycemic index; *in vitro* simulated digestion; sensory evaluation; microstructure

近年来我国的糖尿病患病总人数逐年上升。环境或者遗传等因素可能引起胰岛素分泌不足和胰高血糖素活性增高导致机体的糖脂代谢紊乱。饮食治疗作为糖尿病的基础性治疗措施,可有效控制血糖,进而降低糖尿病的并发症发生概率。

血糖生成指数反映了食物能够引起人体血糖升高的能力[1],其定义为进食含目标量(通常为 50 g)可利用碳水化合物的食物后,一段时间内(≥2 h)血糖应答曲线下面积相比空腹时的增幅除以进食含等量可利用碳水化合物的参考食物(葡萄糖)后相应的增幅,以百分数表示。GI≤55 的食物为低 GI 食物、55<GI<70 的食物为中 GI 食物、GI≥70 的食物为高 GI 食物。研究表明,食物的 GI 与胰岛素抵抗呈正相关,与高 GI 膳食相比,低 GI 膳食对胰岛素的需求相对较少,有助于改善胰岛素抵抗,同时也可改善糖尿病患者的身体情况,控制血糖和血脂[2]。因此,低 GI 食物是糖尿病人饮食的良好选择[3]。人体试验是测试血糖生成指数的金标准方法,但试验过程复杂,操作难度大且费用较贵。因此,在低 GI 产品的配方开发阶段,针对快速大量筛选样品的需要,可以依托体外消化模型绘制淀粉水解率曲线。体外测试得到的数值称为预测血糖生成指数。

低升糖指数食品是血糖调控型健康食品的一种,除了较低的升糖能力,往往具有饱腹感强的特性。成年人每天碳水化合物的摄入量应为 200~300 g,提高碳水化合物质量而不是盲目降低数量,有助于改善餐后血糖反应,降低肥胖和糖尿病等代谢性疾病的风险,已经成为专家共识并写入膳食指南。淀粉的消化速度是影响食物血糖生成能力的关键因素。临床研究表明,过度进食易消化淀粉导致血糖升高与许多慢性疾病密切相关,所以增加食物中慢消化淀粉的比例,不仅有助于维持餐后血糖稳定,持续缓慢释放能量维持饱腹感,还可以改善葡萄糖耐量,提高机体对胰岛素的敏感性[4]。

目前市面上的低 GI 主食有整谷粒、挂面、面包、米饭等类型。以 GI 为指标研发和生产适合慢性病患者食用的产品,已成为国内外科研机构、生产企业和学者们追逐的热点。饼干是一种深受各个年龄层次不同人群喜爱的集营养、方便等特点于一身的休闲食品,拥有广大的消费市场,而日常生活中食用的饼干大多属于高 GI 食品[5]。传统饼干高脂、高糖的特点限制了肥胖者、糖尿病患者、中老年人等人群的消费选择。功能性代餐饼干是顺应时代发展研发出来的一种迎合大众需求性的产品,具有良好的发展前景[6]。目前的低 GI 杂粮饼干主要以高膳食纤维原料制得,与普通饼干相比,其在体内的消化速度显著降低,从而降低餐后血糖应答。因此,开发美味、健康的低 GI 杂粮饼干,符合我国人民的需求。

目前低 GI 饼干的研制主要采用原料替代法,对温度等影响淀粉结构和升糖能力的关键工艺因素研究不足,并且“美味-健康”的平衡有待完善。作者从甘增鹏等[7]使用的湿热处理方法制作低 GI 甘薯粉条中受到启发,将低温烘焙[8]应用于饼干制作,利用模拟消化技术验证了低温烘焙方法降低饼干血糖生成指数的有效性,并采用感官评价和微观结构相结合的方式对饼干的品质进行了分析,客观地评价该方法对饼干的影响。

1 材料与方法

1.1 试验材料

白青稞粉、黑苦荞粉、全麦粉:中粮工厂。

α-淀粉酶(A3176)、胃蛋白酶(P7000)、猪胰酶(P7545)、淀粉葡糖苷酶(A7095)、转化酶(I4504)、胆盐(48305):美国 Sigma 公司;D-葡萄糖测定试剂盒:爱尔兰 Megazyme 公司。

氯化钾、磷酸二氢钠、碳酸氢钠、氯化钠、氯化镁、碳酸铵、氯化钙、乙醇、盐酸等:国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

电烤炉:无锡胜麦机械有限公司;万分之一天平:德国赛多利斯电子天平;多功能酶标仪:美国伯腾仪器有限公司;钨灯丝扫描电子显微镜:株式会社日立制作所;X-射线粉末衍射仪:德国布鲁克 AXS 有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 饼干制备

配方:全麦粉 30 g、白青稞粉 60 g、黑苦荞粉 10 g、黄油 40 g、白砂糖 10 g、麦芽糖醇 10 g、全蛋液 20 g、纯牛奶 10 g。

工艺流程:称取黄油,在室温下待黄油软化后加入白砂糖与麦芽糖醇搅拌均匀,依次加入全蛋液和纯牛奶混合均匀,将黄油打发至蓬松后加入过筛后的混合面粉,制作成面团后用保鲜膜包裹后放入 4 ℃冰箱冷藏过夜,饼干面团切片后放入烤箱。采用低温长时间烘烤与高温短时间烘烤的方式制作饼干。160 ℃烘焙 18 min 的为常规饼干;缩短 160 ℃的烘焙时间,并前置较低温度烘焙 3 h、5 h、7 h 的为低温烘焙饼干。饼干厚度均为 5 mm。

基于饼干的加工参数命名如下。饼干 70-1:70 ℃ 3 h+160 ℃ 10 min;饼干 70-2:70 ℃ 5 h+160 ℃ 8.5 min;饼干 70-3:70 ℃ 7 h+160 ℃ 5 min;饼干 90-1:90 ℃ 3 h+160 ℃ 10 min;饼干 90-2:90 ℃ 5 h+160 ℃ 8.5 min;饼干 90-3:90 ℃ 7 h+160 ℃ 5 min;饼干 110-1:70 ℃ 3 h+160 ℃ 10 min;饼干 110-2:70 ℃ 5 h+160 ℃ 8.5 min;饼干 110-3:70 ℃ 7 h+160 ℃ 5 min;饼干 4:160 ℃ 18 min。

1.3.2 感官评价方法

饼干的感官评价方法参考 GB 7100—2015《食品安全国家标准 饼干》,采用定量描述分析法分别对饼干的色泽、香气、滋味与口感、整体喜好度进行评分[9]。

1.3.3 消化特性测定

杂粮饼干的消化特性依据 Englyst 等[10]的方法稍加改动进行测定。参考 Brodkorb 等[11]的方法并在此基础上稍作改动配制消化液,体外模拟消化试验采用口腔-胃-肠三段式消化体系。口腔模拟消化阶段每个样品加入 5 mL 口腔仿生消化液后在 37 ℃反应 2 min;胃模拟消化阶段加入 10 mL 胃仿生消化液将液体 pH 调至 3.0±0.5,放入 37 ℃水浴摇床中反应 120 min;肠模拟阶段加入 20 mL 肠仿生消化液将液体 pH 调节至 7.0±0.5,放入 37 ℃水浴摇床中反应,分别于 0、10、20、30、45、60、90、120 min 时取样至无水乙醇中终止反应,离心后使用水稀释,涡旋振荡后加入酶标板放入多功能酶标仪进行吸光度测定[12]。以标准葡萄糖溶液为参考物测定每个时间节点饼干水解指数(hydrolysis index,HI)并绘制水解曲线,进而计算得出饼干 eGI。

1.3.4 饼干微观形态

通过 X-射线衍射仪和分析扫描电子显微镜观测饼干样品的微观形态。

X-射线衍射:取新鲜制备的饼干样品,粉碎研磨后进行试验。仪器设置采用广角衍射,将粉碎后的饼干样品放入带有凹槽的玻璃板上,使用载玻片将凹槽填满并压实,压实过程中要尽量保证样品与整个玻璃板呈水平状态。最后将装了样品的玻璃片放入 X-射线衍射仪进行扫描测定,通过电脑设置衍射得到样品的 X-光衍射图谱[13]。

扫描电镜:取新鲜制备的饼干样品进行切片,挑选合适的切片将其固定在样品台上并将样品台分区标记,喷金处理后的样品放入扫描电镜仪进行测定。观察并拍摄保存 50 倍至 1 000 倍的淀粉颗粒形貌图像[14]。

1.4　数据处理

采用 SPSS 16.0、Excel 2013 进行数据分析,显著性分析采用 Duncan 多重检验,$P<0.05$ 判断为显著。

2　结果与分析

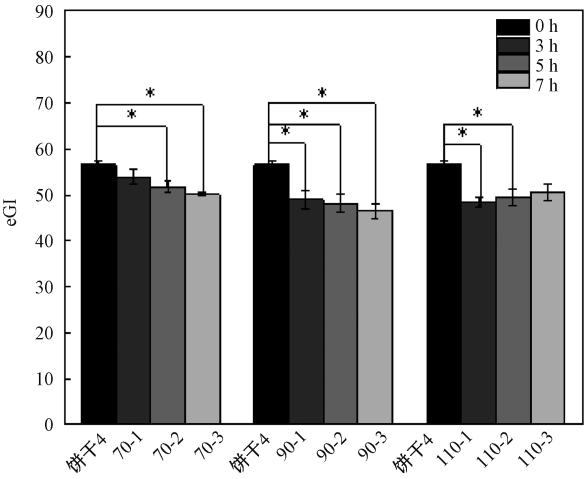
2.1　低温烘焙对饼干感官的影响

对饼干 90-1、90-2、90-3、饼干 4 的色泽、香气、滋味和口感、整体喜好度 4 个方面进行评分,4 种杂粮饼干的综合得分分别为 76.3、78.4、76.5、72.5。饼干的感官得分随着烘烤时间的改变而相应改变。然而,饼干样品中烘烤时间较短的感官评分也更低。感官评价小组成员普遍认为低温烘烤 3 h 饼干有苦味、直接烘烤饼干口感不好。烘烤时间更久的饼干质地更加坚硬使其更加酥脆,可能是由于淀粉成分与非淀粉成分的结合更加致密,这也是长时间烘烤的饼干口感更好的原因之一。参与感官评价的成员中 66.67% 人对低温烘烤 5 h 饼干的各项评分高于其余 3 组,所以在低温制作低 GI 饼干时在一定程度上延长烘烤时间是更优的选择。此外,低温烘烤 5 h 饼干的感官评分普遍高于低温烘烤 7 h 饼干,所以低温烘烤 5 h 饼干是此研究中最优的低 GI 饼干烘烤方式。

2.2　低温烘焙对饼干消化特性的影响

将 3 种低温烘焙温度(70 ℃、90 ℃、110 ℃)及 3 种烘焙时间(3 h、5 h、7 h)相结合,共制作 9 种杂粮饼干,进行体外模拟消化试验。由 eGI 结果(图 1)可以得出,低温烘焙制作的 9 种杂粮饼干 eGI 均低于仅在 160 ℃烘焙的常温饼干,低温烘焙制作的杂粮饼干淀粉水解率均有所降低。其中饼干 70-2、70-3、90-2、90-3、110-1 的预测血糖指数与常温烘焙饼干相比显著降低,饼干 90-3 的预测血糖生成指数最低。

综合感官评价及消化特性数据,饼干 90-2 为“感官-营养”均衡的候选样品。对饼干 90-2 和饼干 4 进行体外模拟消化试验绘制不同饼干的淀粉水解曲线如图 2 所示。在不同的消化时间点下,饼干 90-2 淀粉水解率均较低。经过低温烘焙制作的杂粮饼干 eGI 由最高 57.4 降低至 47.6,饼干的 eGI 降低了 17.1%,这表示经过低温烘焙的杂粮饼干在模拟消化过程中,葡萄糖释放更加缓慢,引起餐后血糖反应相对更小。



注:3 组数据中低温烘焙的饼干分别与高温烘焙的饼干 4 进行显著性比较,* 为显著($P<0.05$)。

图 1　杂粮饼干 eGI($n=3$)

Fig. 1　eGI for miscellaneous grain biscuits

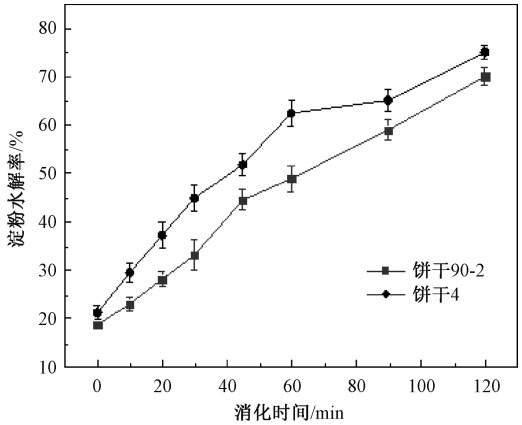
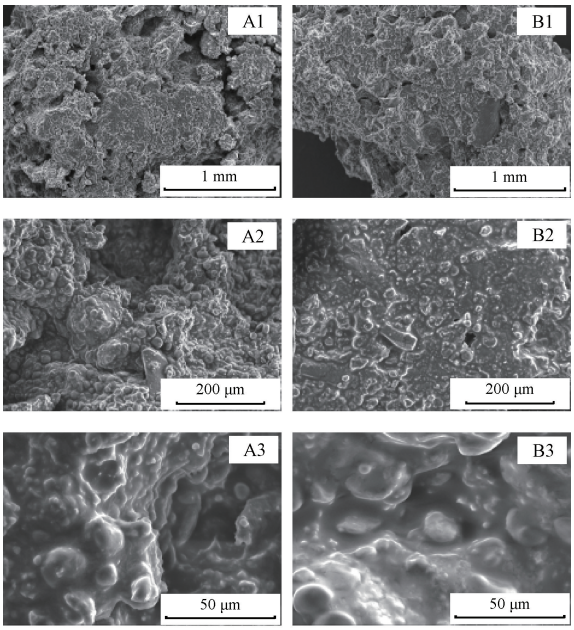


图 2　饼干 90-2 和饼干 4 的淀粉水解曲线($n=3$)

Fig. 2　Starch hydrolysis curves of Biscuit 90-2 and Biscuit 4

2.3　低温烘焙对饼干微观结构的影响

结合饼干感官评价和体外模拟消化试验结果,选择饼干 90-2 和饼干 4 进行微观结构观察,扫描电子显微照片如图 3 所示。全麦粉、白青稞粉、黑苦荞粉在饼干中的结合导致淀粉和蛋白质相互作用,使得饼干样品中淀粉颗粒重叠,淀粉颗粒表面出现密集凸起,可以观察到混合面粉的淀粉颗粒嵌入到了蛋白质原纤维的薄基质中。与饼干 90-2 相比,饼干 4 表面较为光滑,这些表面是由于淀粉-脂质复合物的形成而形成的[15]。面筋网络的缺失通过淀粉与淀粉、蛋白质与淀粉以及蛋白质与蛋白质的相互作用来补偿。然而,饼干长时间的低温烘烤,导致形成了不规则图案并出现更多凸起,表面均一度更低。饼干 90-2 结构的致密性和不规则性



注:A1、A2、A3 为饼干 90-2 在不同放大倍数下的电镜图;B1、B2、B3 为饼干 4 在不同放大倍数下的电镜图。

图 3 饼干 90-2 和饼干 4 的扫描电镜图

Fig. 3 SEM images of Biscuit 90-2 and Biscuit 4

是饼干体外模拟消化试验 eGI 更低的原因之一(图 1)。低温烘烤饼干 eGI 更低的另一个原因可能是淀粉和纤维成分之间对可用水的竞争使得淀粉更加不易被水解[16]。

两种饼干的 X-射线衍射光谱(衍射角为 5°~35°)如图 4 所示。饼干 90-1、90-2、90-3、饼干 4 的相对结晶度分别为 17.1%、20.0%、24.7%、13.0%。经低温烘焙之后,尽管淀粉晶型没有改变,但结晶度升高[17]。淀粉的相对结晶度增加是由于被破坏的双螺旋结构进行重排,使淀粉链之间的联系增强,产生了新的更稳定的结晶结构[18]。

3 结论

随着社会对食物营养价值的正确引导,广大消费者对饼干也有了更高的期待,对营养性、功能性和快捷性要求更高。本试验通过原料替代和低温烘焙相结合的方法制作出了 eGI≤55 并且感官相对较好的杂粮饼干,研究结果表明,饼干的表面均一度和淀粉的相对结晶度与 GI 之间存在联系,成分的选择和适当的加工方法也会影响饼干的 eGI 和感官评分。使用低温烘焙可在一定程度上降低饼干的淀粉消化率和血糖指数,同时可以改善杂粮饼干的感官品质。随着全球消费者对功能性食品的需求与接受度逐渐增长,我国相关产业的规模也在不断发展壮大,低 GI 饼干的市场前景广阔,开发美味、健康的低 GI 饼干,符合我国人民的需求。当前低 GI 饼干与传统饼干相比保质期明显更短,后续研究将扩大控温烘焙方法的应用范围和饼干 eGI 稳定性的提升。

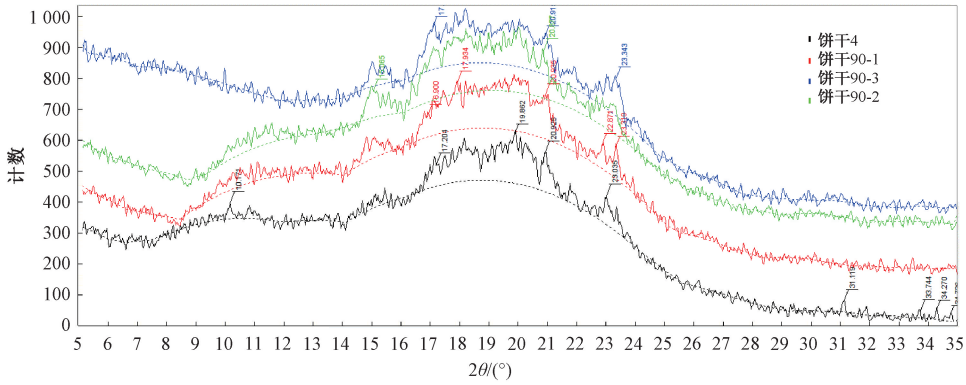


图 4 饼干的 X-射线衍射光谱

Fig. 4 X-ray diffraction images of biscuits

参考文献:

[1] BRAND-MILLER J C, HOLT S H A, PAWLAK D B, et al. Glycemic index and obesity [J]. The American journal of clinical nutrition, 2002, 76(1): 281S-285S.

[2] 黄峻榕, 任瑞珍, 蒲华寅, 等. 慢消化淀粉的消化特性、测定及制备[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(3): 134-139.

[3] 缪铭, 江波, 张涛. 低血糖生成指数淀粉类衍生物的研究进展[J]. 食品科学,

2008, 29(4): 452-456.

[4] 缪铭. 慢消化淀粉的特性及形成机理研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009: 7-9.

[5] 李姣. 食物血糖生成指数[J]. 糖尿病新世界, 2013(7): 52.

[6] 刘美琪, 郑龙华, 孙越, 等. 功能性代餐饼干的研究发展[J]. 粮食与食品工业, 2021, 28(4): 41-45.

[7] 甘增鹏, 唐雪, 刘惠惠, 等. 湿热处理对甘薯粉条食用品质及消化性能的影响[J]. 中国食品学报, 2022, 22(5): 169-179.

[8] 王志伟, 郭媚下, 周中凯. 温度对支链淀粉脱支重结晶特性的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2020, 39(1): 24-30.

[9] 张九东,徐伟君,李东. 川芎饼干加工技术研究[J]. 安徽农业科学,2021,49(19):161-163.

[10] ENGLYST H N, KINGMAN S M, CUMMINGS J H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions[J]. European journal of clinical nutrition, 1992, 46(Suppl 2): S33-S50.

[11] BRODKORB A, EGGER L, ALMINGER M, et al. INFOGEST static *in vitro* simulation of gastrointestinal food digestion [J]. Nature protocols, 2019, 14: 991-1014.

[12] 王梦倩,曾清清,毋思敏,等. 控糖模块对主食淀粉消化特性、质构及感官品质的影响[J]. 食品工业,2022,43(7):147-150.

[13] KARA A, STEVENS R. Characterisation of biscuit fired bone China body microstructure. Part I: XRD and SEM of crystalline phases [J]. Journal of the European ceramic society, 2002, 22(5): 731-736.

[14] 王然, 张春玉, 蔡勇, 等. 人参淀粉微粒的制备工艺及性质[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(9): 29-33.

[15] SAEED S M G, ALI S A, FAHEEM K, et al. The impact of innovative plant sources (*Cordia myxa* L. fruit (assyrian plum) and *Phoenix dactylifera* L. biowaste (date pit)) on the physicochemical, microstructural, nutritional, and sensorial properties of gluten-free biscuits[J]. Foods, 2022, 11(15): 2346.

[16] MOLINA M T, VAZ S M, LEIVA Á, et al. Rotary-moulded biscuits: dough expansion, microstructure and sweetness perception as affected by sucrose: flour ratio and sucrose particle size[J]. Food structure, 2021, 29: 100199.

[17] FRISULLO P, CONTE A, DEL NOBILE M A. A novel approach to study biscuits and breadsticks using X-ray computed tomography [J]. Journal of food science, 2010, 75(6): E353-E358.

[18] JACOBS H, EERLINGEN R C, SPAEPEN H, et al. Impact of annealing on the susceptibility of wheat, potato and pea starches to hydrolysis with pancreatin[J]. Carbohydrate research, 1997, 305(2): 193-207.

(责任编辑　金铁成)